

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-174341

(P2000-174341A)

(43) 公開日 平成12年6月23日 (2000.6.23)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード\* (参考)

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C 5 F 0 4 1

H 0 1 S 5/323

H 0 1 S 3/18

6 7 3

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号

特願平10-348078

(22) 出願日

平成10年12月8日 (1998.12.8)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 奥 保成

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

(72) 発明者 亀井 英徳

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

(74) 代理人 100097445

弁理士 岩橋 文雄 (外2名)

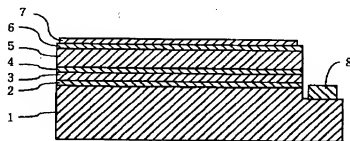
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 窒化ガリウム系化合物半導体からなる基板を用い、この基板の側を主発光面側とする発光素子において、発光素子直上での配光特性を改善するとともに、発光強度を高く保持することができる新規な構造を提供することを目的とする。

【解決手段】 n型の窒化ガリウム系化合物半導体からなる基板1とInを含む活性層3とを包含するダブルヘテロ構造を備え、前記基板1に接続される電極を有する半導体発光素子において、前記基板1と前記活性層3との間に、電子濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満である中間層2を有する構成とすることによって、主発光面側に配置される電極を不要とし主発光面側から均一な面発光を得ることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 n 型の窒化ガリウム系化合物半導体からなる基板と In を含む活性層とを包含するダブルヘテロ構造を備え、前記基板に接続される電極を有する半導体発光素子であって、前記基板と前記活性層との間に、電子濃度が  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  未満である中間層を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 2】 前記中間層は、その厚さが 10 nm 以上で 100 nm 以下の範囲にあることを特徴とする請求項 1 記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 3】 前記中間層は、アンドープの GaN からなることを特徴とする請求項 1 記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 4】 前記電極は、前記ダブルヘテロ構造の表面側からその一部を除去させて露出された前記基板の表面に直接接して設けられていることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は発光ダイオードに利用される半導体発光素子に係り、特に窒化ガリウム系化合物半導体からなる基板を用いた窒化ガリウム系化合物発光素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 窒化ガリウム系化合物半導体は、可視光発光デバイスや高圧動作電子デバイス用の半導体材料として多用されるようになっており、青色や緑色の発光ダイオード分野での展開が進んでいる。

【0003】 可視光で発光可能な窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、基本的には、サファイアや SiC 等からなる基板の上にバッファ層を介して、n 型クラッド層と、発光層となる InGaIn 系からなる活性層と、p 型クラッド層とを積層させたものが主流である。特に、近來では、基板にサファイアを用い、有機金属気相成長法により、GaN や AlN 等からなる低温成長バッファ層を介してダブルヘテロ構造を成長させたものは、高輝度で信頼性が高く、屋外用のパネルディスプレイ用発光ダイオード等に広く用いられるようになってきている。

【0004】 しかしながら、最近、GaN からなる基板が作製されるようになり、これを用いた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子がいくつか提案されるようになってきている。例えば、特開 7-94784 号公報には、GaN を基板とし基板の上にホモ接合構造、シングルヘテロ構造またはダブルヘテロ構造で構成される p-n 接合を含む積層体を形成させた青色発光素子が開示されている。この公報によれば、GaN を基板として用い他の赤色発光ダイオード等と同様に対向する電極の間に基板が存在する構造が可能となり、電極位置に対する制約をなくすることができるという。

【0005】 また、特開 10-150220 号公報においては、n 型 GaN からなる基板を用い、基板の側を主発光面側とすることができる発光素子が開示されている。

【0006】 図 2 は、上記公報において示された従来の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の構造を示す断面図である。n 型の GaN からなる基板 11 の上には、Si がドーブされた n 型クラッド層 13 と、活性層 13 と、Mg がドーブされた p 型クラッド層 14 とが順次積層されており、基板 11 の積層面側でない一面の上の一部に n 側電極 15 が設けられ、p 型クラッド層 14 の上の全面にわたって p 側電極 16 が設けられている。p 側電極 16 を下向きに実装することにより、n 側電極を設けた面の側を主発光面側とし、面発光を得ることができる。このような構成によれば、電流-光出力特性が改善された安価な発光素子を提供することができるとされている。さらに、例えば、GaN からなる基板 11 を用い、n 型クラッド層 12 を GaN で形成した場合のように、基板 11 と n 型クラッド層 12 の組成を一致させると、基板 11 と n 型クラッド層 12 とが一体となり、製造が容易となるとされている。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 図 3 に示す構造の発光素子においては、GaN からなる基板 11 が活性層 13 からの発光に対し透明であるので、基板 11 に設けた n 側電極 15 の側を主発光面とすることができる。この n 側電極 15 は、通常、ワイヤボンディング用のパッドとして用いられるため、発光に対し透過性を有しない程度の厚膜で形成される。

【0008】 したがって、この電極の下活性層 13 で発せられ基板 11 の主発光面の側へ向かう光は、厚膜の n 側電極 15 で遮られてしまうこととなる。このため、発光素子の上方における配光特性は、n 側電極 15 を形成した領域の上部で落ち込む凹状の分布となる。このような分布の配光特性は、発光素子直上で均一な配光特性と高い発光強度を必要とする用途においては望ましくないという問題がある。

【0009】 このような凹状の分布を回避しようとして主発光面となる基板 11 の面積を大きくするために n 側電極 15 のサイズを小さくすると、ワイヤボンディングの作業が困難となるので、n 側電極 15 のサイズを小さくすることは好ましくない。したがって、ボンディング等の電気的接続の作業性を確保してもなお発光特性を改善することができる発光素子が望まれている。

【0010】 本発明において解決すべき課題は、窒化ガリウム系化合物半導体からなる基板を用い、この基板の側を主発光面側とする発光素子において、発光素子直上での配光特性を改善するとともに、発光強度を高く保持することができるような新規な構造を提供することである。

## 【0011】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、基板の上に積層させるダブルヘテロ構造の積層条件と電極の配置について鋭意検討した結果、基板をダブルヘテロ構造を構成するn型クラッド層として用い、活性層と基板との間に特定の電子濃度の中間層を設けることにより、活性層から均一な発光が得られ発光強度を高く保持することができることが判った。そして、基板に接続される電極を基板の積層側面に配置することにより均一な面発光が得られることを想到するに至った。

【0012】すなわち、本発明は、n型の窒化ガリウム系化合物半導体からなる基板とInを含む活性層とを包含するダブルヘテロ構造を備え、前記基板に接続される電極を有する半導体発光素子であって、前記基板と前記活性層との間に、電子濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満である中間層を有することを特徴とする。

【0013】また、本発明においては、前記電極は、前記ダブルヘテロ構造の表面側からその一部を除去させて露出された前記基板の表面に直接接して設けられていることを特徴とする。

【0014】このような構成によれば、基板の側を主発光面側とする発光素子において、発光素子直上での配光特性を改善することができるとともに、発光強度を高く保持することが可能となる。

#### 【0015】

【発明の実施の形態】請求項1に記載の発明は、n型の窒化ガリウム系化合物半導体からなる基板とInを含む活性層とを包含するダブルヘテロ構造を備え、前記基板に接続される電極を有する半導体発光素子であって、前記基板と前記活性層との間に、電子濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満である中間層を有することを特徴とするものであり、n型の基板をn型クラッド層として機能させ、基板と中間層との界面において電子を面内で広げやすくするという作用を有する。

【0016】請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、前記中間層は、その厚さが10nm以上で100nm以下の範囲にあることを特徴とするものであり、動作電圧の増大を抑えつつ中間層の結晶性を良好に保つことができるという作用を有する。

【0017】請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、前記中間層は、アンドープのGaNからなることを特徴とするものであり、中間層を結晶性の良好なものとすることができるという作用を有する。

【0018】請求項4に記載の発明は、請求項1から3のいずれかに記載の発明において、前記電極は、前記ダブルヘテロ構造の表面側からその一部を除去させて露出された前記基板の表面に直接接して設けられていることを特徴とするものであり、基板の側を主発光面側とし均一な面発光が得られるという作用を有する。

【0019】以下に、本発明の実施の形態の具体例を、図1を参照しながら説明する。

(実施の形態1) 図1に、本発明の一実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の構造を示す断面図を示す。

【0020】図1において、n型のGaNからなる基板1の上に、GaNからなる中間層2、InGaNからなる活性層3と、GaNからなる第一p型クラッド層4と、AlGaNからなる第二p型クラッド層5と、InGaNからなるp型コンタクト層6とが、順次積層されている。p型コンタクト層6の表面上にはp側電極7が形成されており、p型コンタクト層6の表面側から、p型コンタクト層6と第二p型クラッド層5と第一p型クラッド層4と活性層3とn型クラッド層2と基板1の一部をエッチングにより除去して露出された基板1の表面上に、n側電極8が形成されている。

【0021】基板1には、活性層3よりもバンドギャップの大きいn型窒化ガリウム系化合物半導体を使用することができる。中でも、製造が比較的容易で、かつ比較的結晶性の良好なものが得られるGaNからなるものを使用することが好ましい。基板1にはSiやGe等のn型不純物がドーパされて、その電子濃度を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ から $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲に制御されたものを用いる。電子濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ よりも低くなると、抵抗率が高くなり基板1に注入された電子が基板1で広がりにくくなる傾向にあるからであり、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ よりも高くなると、n型不純物を高濃度にドーパしたことに起因して基板1の結晶性が悪くなる傾向にあるからである。

【0022】このn型の基板1がダブルヘテロ構造を構成するn型クラッド層として機能する。

【0023】中間層2には、活性層3よりもバンドギャップの大きいn型の窒化ガリウム系化合物半導体を用いることができるが、基板1の電子濃度を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満に調整したものを用いる。中間層2の電子濃度を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満に特定することで、基板1との電子濃度の差、すなわち抵抗率の差を大きくとることができ、基板1と中間層2との界面において、基板1の中の電子が面内で十分に広がり、これにより活性層3への均一な電子の注入が実現できるため、活性層3における発光分布が均一となり、その結果、基板1の側の主発光面で均一な面発光が得られるからである。

【0024】なお、中間層2にSiやGe等のn型不純物を意図的に少量ドーパして、電子濃度を制御することも可能である。

【0025】中間層2には、GaNやAlGaN等を用いることができるが、基板1にGaNを用いる場合には、アンドープのGaNを用いることが最も望ましい。窒化ガリウム系化合物半導体は、GaNからなる基板1の上にアンドープで形成させたGaNは結晶性が良好であり、この上に形成する活性層3の結晶性も向上するからである。

【0026】本発明者らの知見によれば、Ga<sub>2</sub>Nからなる基板1の上に形成するGa<sub>2</sub>Nは、アンドープの状態では比較的高抵抗のn型の導電性を示すが、その厚さを10nm以上で100nm以下の範囲に特定し肉薄の層として形成することにより、この層の形成によるシリーズ抵抗の過剰な増大を防止することができる、発光素子の動作電圧の上昇を抑えつつ活性層における発光の均一性を向上させることができる。

【0027】活性層3には、Inを含み、基板1、中間層2、第一p型クラッド層4、第二p型クラッド層5のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有する窒化ガリウム系化合物半導体を用いることができる。特に、Alを含まないInGa<sub>2</sub>Nを用いると、青色から緑色の波長域での発光強度を高くすることができる。さらに、膜厚を100nmよりも薄くして単一量子井戸構造とすると、活性層3の結晶性を高めることができ、発光効率をより一層高めることができる。

【0028】また、活性層3は、膜厚を100nmよりも薄いInGa<sub>2</sub>Nからなる量子井戸層と、この量子井戸層よりもバンドギャップの大きいInGa<sub>2</sub>N、Ga<sub>2</sub>N等からなる障壁層とを交互に積層させた多重量子井戸構造とすることもできる。

【0029】第一p型クラッド層4には、活性層3よりもバンドギャップの大きい窒化ガリウム系化合物半導体を用いることができる。特に、Ga<sub>2</sub>Nを用いると、活性層3との界面の結晶性を良好に保つことができるので、好ましい。

【0030】第一p型クラッド層4にはp型不純物がドーピングされて、導電型をp型とされる。このp型不純物のドーピングは、結晶成長時にp型不純物の原料ガスを流すことで実現することもできるが、第一p型クラッド層4の上に成長させる第二p型クラッド層5にドーピングさせたp型不純物を第一p型クラッド層4に拡散させてドーピングすると、結晶性の低下を抑制し発光効率を高めることができる。

【0031】第一p型クラッド層4の層厚は、30nm以上60nm以下の範囲とすることが好ましい。

【0032】第二p型クラッド層5には、活性層3よりもバンドギャップの大きい窒化ガリウム系化合物半導体を用いることができる。特に、第一p型クラッド層よりもバンドギャップの大きいAlGa<sub>2</sub>Nを用いると、活性層3への電子の閉じ込めを効率的に行うことができ、発光効率を高くすることができるので好ましい。さらに、第一p型クラッド層4と接する側からp型コンタクト層6に接する側にかけて、Al組成が収斂するように組成を傾斜させて変化した構造とすると、発光効率を高くすることができるともに、動作電圧を低減することができるので好ましい。

【0033】第二p型クラッド層5の層厚は、0.03μm以上0.3μm以下の範囲とすることが好ましい。

【0034】p型コンタクト層6には、Ga<sub>2</sub>NやInGa<sub>2</sub>N、AlGa<sub>2</sub>Nを用いることができるが、p側電極7との接触抵抗を小さくできるGa<sub>2</sub>NやInGa<sub>2</sub>Nを用いることが好ましい。特に、組成傾斜させたAlGa<sub>2</sub>Nからなる第二p型クラッド層5とInGa<sub>2</sub>Nからなるp型コンタクト層6とを組み合わせて用いると、発光効率の向上と動作電圧の低減を同時に効果的に行うことができる。

【0035】p型コンタクト層6の層厚は、0.02μm以上0.2μm以下の範囲とすることが好ましい。

【0036】第一p型クラッド層4、第二p型クラッド層5、およびp型コンタクト層6にドーピングされるp型不純物には、Mg、Zn、Cd、C等を用いることができるが、比較的容易にp型とすることができるMgを用いることが好ましい。

【0037】p側電極7には、AuやNi、Pt、Pd、Mg等の単体金属、あるいはそれらの合金や積層構造を用いることができる。特に、発光波長に対する反射率が高いPt、Mg等の金属を用いると、活性層3からp側電極7の側へ向かう光を反射させて、基板1の側から取り出すことができるので、発光強度向上の面で好ましい。

【0038】n側電極8は、基板1の上に形成された中間層2、活性層3、第一p型クラッド層4、第二p型クラッド層5およびp型コンタクト層6からなる積層構造の表面側からこれらの一部を除去させて露出させた基板1の表面に直接接して形成される。n側電極8をこのように配置する構成とすることにより、基板1の前記積層構造を形成しない側面を主発光面とすることができ、上記した中間層2と基板1との界面における電流密度が効果により、この主発光面において均一な面発光が得られる。

【0039】n側電極8には、AlやTi等の単体金属、またはAlやTi、Au、Ni、V、Cr等を含む合金、若しくはそれらの積層構造を用いることができる。

【0040】

【実施例】以下、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法の具体例について図面を参照しながら説明する。以下の実施例は、主として有機金属気相成長法を用いた窒化ガリウム系化合物半導体の成長方法を示すものであるが、成長方法はこれに限定されるものではなく、分子線エビタキシー法や有機金属分子線エビタキシー法等を用いることも可能である。

【0041】（実施例）本実施例においては、図1に示す窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を作製した。

【0042】まず、表面を鏡面に仕上げられたGa<sub>2</sub>Nからなる基板1を反応管内の基板ホルダーに載置した後、基板1の表面温度を1100℃に10分間保ち、水素ガスを流しながら基板を加熱することにより、基板1の表

面に付着している有機物等の汚れや水分を取り除くためのクリーニングを行った。

【0043】続いて、基板1の表面温度を1100℃に5分間保ち、水素ガスと窒素ガスとアンモニアとを流しながら、基板1の表面の結晶性を向上させる。

【0044】次に、基板1の表面温度を1050℃にまで降下させた後、主キャリアガスとして窒素ガスと水素ガスを流しながら、トリメチルガリウム (TMG) を含むTMG用のキャリアガスと、を流しながら成長させて、アンドープのGa Nからなる中間層2を50 mの厚さで成長させた。この中間層2の電子濃度は $6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であった。

【0045】中間層2を成長後、TMG用のキャリアガスを止め、基板温度を750℃にまで降下させ、750℃において、主キャリアガスとして窒素ガスを流し、新たにTMG用のキャリアガスと、TMI用のキャリアガスと、を流しながらアンドープのIn 0.2Ga 0.8Nからなる単一量子井戸構造の活性層3を3 nmの厚さで成長させた。

【0046】活性層3を成長後、TMI用のキャリアガスを止め、TMG用のキャリアガスを流しながら基板温度を1050℃に向けて昇温させながら、引き続きアンドープのGa Nを4 nmの厚さで成長させ、基板温度が1050℃に達したら、新たに主キャリアガスとしての窒素ガスと水素ガスと、TMA用のキャリアガスと、Mg源であるCp 2Mg用のキャリアガスと、を流しながら成長させて、MgをドープさせたAlGa Nからなる第二p型クラッド層5を0.1 μmの厚さで成長させる。このAlGa Nの成長時には、TMA用のキャリアガスを時間とともにリニアに減少させつつ、TMG用のキャリアガスを時間とともにリニアに増加させて、組成がAl 0.15Ga 0.85NからAl 0.01Ga 0.99Nまで変化した傾斜組成AlGa Nとして第二p型クラッド層5を成長させた。

【0047】この後、TMG用のキャリアガスとTMA用のキャリアガスとを止め、基板温度を1050℃に保持し、MgをドープさせたAlGa Nからアンドープで形成したGa NにMgを拡散させ、第一p型クラッド層4を形成させた。

【0048】第一p型クラッド層4および第二p型クラッド層5を形成後、基板温度を800℃にまで降下させ、800℃において、新たにTMG用のキャリアガスと、TMI用のキャリアガスと、Cp 2Mg用のキャリアガスと、を流しながら成長させて、MgをドープさせたIn 0.05Ga 0.95Nからなるp型コンタクト層6を0.1 μmの厚さで成長させた。

【0049】p型コンタクト層6を成長後、TMG用のキャリアガスとTMI用のキャリアガスとCp 2Mg用のキャリアガスとを止め、主キャリアガスとアンモニアをそのまま流しながら室温程度にまで冷却させて、ウェ

ハーを反応管から取り出した。

【0050】次に、p型コンタクト層6の表面上にCV D法によりSi O<sub>2</sub>膜を堆積させた後、フォトリソグラフィにより所定の形状にパターンニングしてエッチング用のマスクを形成させた。そして、反応性イオンエッチング法により、p型コンタクト層6と第二p型クラッド層5と第一p型クラッド層4と活性層3とn型クラッド層2と基板1の一部を約0.4 μmの深さで積層方向と逆の方向に向かって除去させて、基板1の表面を露出させた。そして、フォトリソグラフィと蒸着法により露出させた基板1の表面上にAlからなるn側電極8を蒸着形成させた。さらに、同様にしてp型コンタクト層6の表面上にPtとAuとからなるp側電極7を蒸着形成させた。

【0051】この後、基板1の裏面を研磨して100 μm程度の厚さに調整し、スクライプによりチップ状に分離した。このようにして、図1に示す窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が得られた。

【0052】この発光素子を、電極形成面側を下向きにして、正負一對の電極を有するSiダイオードの上にAuパンプにより接着させた。このとき、発光素子のp側電極7およびn側電極8が、それぞれSiダイオードの負電極および正電極と接続されるようして発光素子を搭載する。この後、発光素子を搭載させたSiダイオードを、Agペーストによりシステム上に載置し、Siダイオードの正電極をシステム上の電極にワイヤで結線し、その後樹脂モールドして発光ダイオードを作製した。この発光ダイオードを20 mAの順方向電流で駆動したところ、ピーク発光波長470 nmの青色で発光し、基板1の側から均一な面発光が得られた。このときの発光出力は1.0 mWであり、順方向動作電圧は3.45 Vであった。

【0053】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、窒化ガリウム系化合物半導体からなる基板を用い、この基板の側を主発光面側とする発光素子において、発光素子直上での配光特性を改善するとともに、発光強度を高く保持することができるので、発光素子直上で均一な配光分布が望まれる表面実装型発光ダイオードや発光素子を基板上に複数配列させたライン状光源などの用途に好適に用いることができる。

【0054】また、発光素子直上での発光強度を高く保持することができるので、従来の砲弾形状の樹脂レンズ付き発光ダイオードにも用いることができる。

【0055】さらに、n側電極の配置とn型クラッド層の電子濃度の条件を特定することにより、n型の基板とn型クラッド層における電流広がりが確保されるので、n側電極のサイズを小さくすることが可能となる。このため、Auパンプ等による電気的接続を用いることができるので、電極サイズによるワイヤボンディング等の作

業性の制約が解消され、電気的接続の作業性が確保される。

【0056】また、中間層を層厚が薄いので、積層構造の成長時間を短くすることができ、製造コストの低減にも寄与することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の構造を示す断面図

【図2】従来の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の構造を示す断面図

\*【符号の説明】

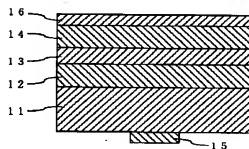
- 1 基板（n型クラッド層）
- 2 中間層
- 3 活性層
- 4 第一p型クラッド層
- 5 第二p型クラッド層
- 6 p型コンタクト層
- 7 p側電極
- 8 n側電極

\*10

【図1】



【図2】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F041 AA04 AA05 CA04 CA05 CA12  
CA13 CA33 CA34 CA40 CA46  
CA49 CA57 CA65 CA66 CA74  
CA76 CA83 CA92 DA02 DA04  
DA07 DA19 DA41 DB01 FF01  
5F073 AA44 AA73 AA74 AA77 CA07  
CB02 CB05 CB13 CB14 DA05  
DA06 EA07 EA24